



# CUTEC News

Ausgabe 1 / Februar 2019



Pyrolysedrehrohr © CUTEC

Editorial	2	Redox-Flow-Batterie	9
Überblick Energieforschung CUTEC Forschungszentrum	3	Der Sektorkopplung den Weg bereiten	9
Mit voller Energie für eine nachhaltige Sekundärrohstoffsicherung	4	Simulation CUTEC-Energiebedarf	10
Konzeptstudie bewilligt: Regionale Phosphorverwertung aus kommunalen Abwässern in Südost-Niedersachsen	5	Praxisnahe Berufsvorbereitung für Nachwuchswissenschaftler	12
Neue Möglichkeiten für Forschungsvorhaben zur Pyrolyse	6	CUTEC unterwegs	13
Energie- und Ressourceneinsparung in Zügen durch elektrochemische Abwasserreinigung	7	Save the Date: 3. bis 5. September 2019	14
Netzintegration von erneuerbaren Energien in Sri Lanka	8	Zum Tode von Werner Grübmer	15
		Neujahrsgriße	16
		Wir gratulieren...	16
		Impressum	16

## Editorial



*Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck  
Mitglied des Vorstands des  
Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrums (CUTEC)*

Liebe Leserin, lieber Leser,

schon im letzten Heft der CUTEC News aus dem Jahr 2018 wurde über die Neuaufstellung der ehemaligen CUTEC GmbH als weiteres Forschungszentrum der TU Clausthal mit den im Aufbau befindlichen zwei Forschungslinien Ressourcen und Energie berichtet. In diesem Heft werden die laufenden und zukünftigen Forschungsarbeiten dazu weiter präzisiert und insbesondere die Einordnung in die zukünftige Energieforschungslandschaft in Niedersachsen, die durch das Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN) und der Mitgliedsuniversität TU Clausthal mit dem Zentrum für Energiespeichertechnologien (EST) gegeben ist, beschrieben. Während beim EFZN und dem EST die Grundlagenforschung im Vordergrund steht (Technology Readiness Level TRL 1–5), wird im CUTEC seit seiner Gründung TRL 6–10 bedient, und zwar zukünftig in den neuen profilbildenden Forschungsbereichen der TU Clausthal, die da sind: Ressourcen, Energie und Nachhaltigkeit. Hierzu wird das CUTEC zeitnah millionenschwere Investitionen tätigen, um für die Zukunft auch diesbezüglich apparativ gerüstet zu sein. Auch hierüber wird noch zu berichten sein. Die TU Clausthal hat in der Energieforschung die Forschungslinie „Nachhaltige Energiesysteme“ eingerichtet (Masterplan, Stand 2016), die im Wesentlichen von den beiden institutsübergreifenden Zentren EST und CUTEC getragen wird und darüber hinaus disziplinär auf der Forschung der energiebezogenen Institute der TUC ruht. Um die Nachhaltigkeit

der zu entwickelnden zukünftigen Energiesysteme zu gewährleisten, ist u. a. eine stoffliche Kopplung mit nachhaltigen Rohstoffen und Werkstoffen essentiell. Hierfür steht in der Wissenschaft seit einiger Zeit der Begriff der Sektorenkopplung, weil inzwischen klar ist, dass die getrennte technologische und/oder regulatorische Betrachtung der Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Mobilität im Sinne einer echten Energiewende nicht zielführend ist. Insofern erweist sich auch im Nachhinein die vorgenannte CUTEC-Integration aufgrund des seit Gründung in der CUTEC vorhandenen Fächerspektrums vor dem Hintergrund der verabschiedeten Masterplanung als fachlich zielführend, wobei die Gründungsidee des Umweltschutzes durch den Nachhaltigkeitsgedanken zu erweitern ist. Die Nachhaltigkeit im Stromsektor steht dabei im engen Zusammenhang mit den Erneuerbare-Energieanlagen zur Stromerzeugung und den notwendigen Reservekraftwerken zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit, denn zunehmend sind auf Grund des fluktuierenden regenerativen Energiedangebotes auch sogenannte Speicherkraftwerke erforderlich, die als Speichermedium regenerative Brenn- und Kraftstoffe wie z. B. Wasserstoff ( $H_2$ ) oder synthetisches Methan ( $CH_4$ ) benötigen. Diese synthetischen nachhaltigen Sekundärenergieträger spielen voraussichtlich auch im Verkehrssektor und der chemischen Industrie eine tragende Rolle. Sie sind ein zentraler Baustein der Sektorenkopplung, weil aus ihnen in Verbindung mit regenerativem Strom und gereinigtem Industriewasser und  $CO_2$  auch die zukünftig erforderlichen synthetischen Kohlenwasserstoffe ( $C_xH_y$  mit  $x=1,2,\dots$  und  $y=1,2,\dots$ ) nachhaltig hergestellt werden können. Somit ist diese Thematik auch im CUTEC essentiell. Sie wird im Folgenden von meinem Kollegen Herrn Turek auch deshalb genauer beschrieben. Im vorliegenden ersten Heft der CUTEC News des Jahres 2019 lesen Sie hierzu darüber hinaus auch Arbeitsergebnisse aus den Abteilungen. Entsprechende Themen sind die nachhaltige Sekundärrohstoffsicherung ( $CH_4$ ,  $H_2$ ) aus Abfall, die Industriewasserreinigung, die CUTEC-Energiebedarfsvorhersage sowie die Inbetriebnahme der Redox-Flow-Batterie und die Netzintegration erneuerbarer Energie in Sri Lanka mittels Wasserkraft. Dies sollen erste Beispiele sein für die aktuelle Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedankens in der stofflich-energetischen Welt. Weitere werden sicher folgen.

Ihr

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck  
Mitglied des Vorstands



# Überblick Energieforschung CUTEC Forschungszentrum

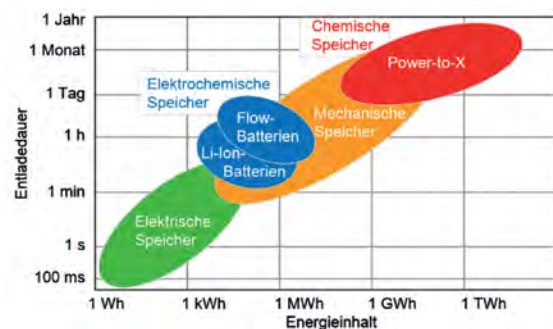


Prof. Dr.-Ing. Thomas Turek  
Mitglied des Vorstands

Die Umstellung der Energieversorgung erfordert wegen des fluktuierenden Anfalls von Wind- und Solarenergie die Entwicklung von Systemen zur Speicherung regenerativer elektrischer Energie. Zu diesem Zweck werden Speicher auf allen Größen- und Zeitskalen benötigt, wofür ganz unterschiedliche Prinzipien (elektrisch/elektrochemisch, mechanisch, chemisch) in Frage kommen. Speicher im mittleren Größenbereich (Mega- bis Gigawattstunden) können durch wieder-aufladbare Batterien (z. B. Lithium-Ionen, Redox-Flow) oder durch mechanische Speicher realisiert werden, während sehr große Energiemengen im Terawattstundenbereich nur durch Wandlung der elektrischen Energie in energiereiche Moleküle gespeichert werden können.

Seit vielen Jahren organisiert das CUTEC zusammen mit weiteren niedersächsischen Partnern die Summer School „Brennstoffzellen und Batterien“ (Seite 12). Damit wird dem wissenschaftlichen Nachwuchs die wachsende Bedeutung der elektrochemischen Prozesse für die Umstellung des Energiesystems im Rahmen der Energiewende verdeutlicht. Inten-

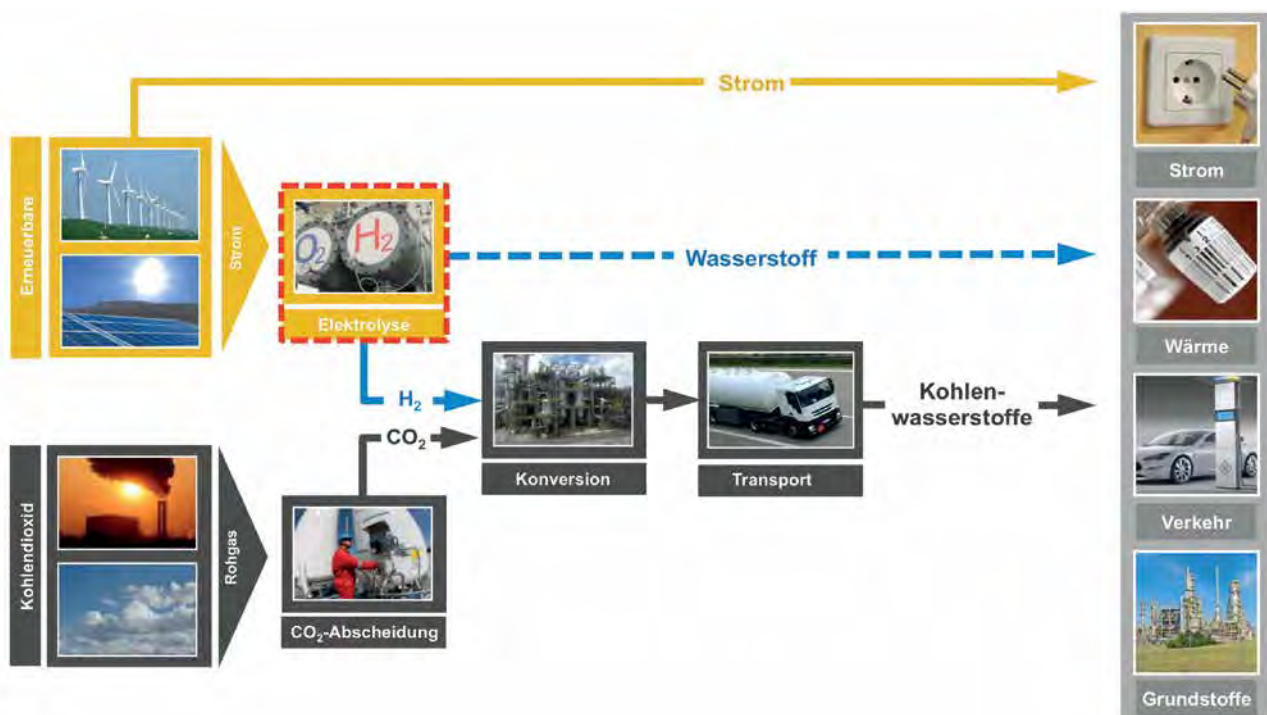
sive Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Entwicklung von Redox-Flow Batterien werden an der TU Clausthal insbesondere am Forschungszentrum Energiespeichertechnologien (EST), aber auch am CUTEC durchgeführt. Während das EST sich auf Grundlagenarbeiten zu neuen Materialien und verbesserten mathematischen Modellen konzentriert, steht am CUTEC die Demonstration und die Integration verschiedener Speicher in den erweiterten Energiepark im Vordergrund, die in der Abteilung Energiesystemintegration des CUTEC vorangetrieben werden. In diesem Zuge wurde kürzlich ein vanadiumbasiertes Redox-Flow-Batteriesystem mit einem Energieinhalt von 100 kWh auf dem CUTEC-Gelände installiert (Seite 9).



Übersicht Energiespeicher, Quelle: Dr. Christine Minke, EST

Für Energiemengen im Terawattstundenbereich, die über Monate gespeichert werden und damit für den zukünftig erforderlichen saisonalen Ausgleich der regenerativen Energien sorgen, kommen nur stoffliche Speicher in Frage. Der erste Schritt besteht in der elektrochemischen Erzeugung von Wasserstoff durch Wasserelektrolyse. Neben den bereits kommerziell verfügbaren und stetig weiterentwickelten Technologien der alkalischen

**Fortsetzung auf Seite 14**



PtX-Schema zur Erzeugung regenerativer Energieträger, Quelle: CUTEC, Abt. Chemische Energiesysteme

## Mit voller Energie für eine nachhaltige (Sekundär-) Rohstoffsicherung

Wachsende Weltbevölkerung und Industrialisierung führen zu steigenden Ressourcenverbräuchen. Die Kreislauf-führung von Elementen mit einem Recycling aus Abfällen und Reststoffen gewinnt international an Bedeutung. In Deutschland werden seit den 90er Jahren gesetzliche Maßnahmen getroffen, um die Rahmenbedingungen hierfür zu schaffen. Zu nennen sind das Kreislaufwirtschaftsgesetz und aus jüngster Zeit die Novellierungen von Gewerbeabfall- und Klärschlammverordnungen. Auf EU-Ebene ist die Abfallrahmenrichtlinie ein gepflegtes Instrument mit nationalen Auswirkungen.

Unabhängig von den Recyclingbemühungen startete Anfang des Jahrtausends in Deutschland die Energiewende mit dem Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform vom 3. März 1999 und das erste Erneuerbare Energien-Gesetz vom 29. März 2000. Ziel ist seitdem der Ersatz fossiler Energieträger. Durch weitere Maßnahmen wie die Einführung des Emissionshandels für produzierende Unternehmen und Kraftwerke, ein CO<sub>2</sub>-Grenzwert bei Automobilherstellern oder die Unterstützung der Niedrigenergiehäuser im Privatbereich sind alle Bereiche der Gesellschaft von den Bemühungen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion betroffen.

Beide Themenbereiche führen dazu, dass Prozesse mit Energiewandlung besonders thermo-chemischer Natur geändert oder neu entwickelt werden müssen (s. Abb. 1).

Das CUTEK-Forschungszentrum besitzt in der Abteilung Thermische Prozesstechnik (TP) langjährige Erfahrung auf den Gebieten der Pyrolyse, Vergasung und Verbrennung mit dazugehöriger Gasreinigung und -aufbereitung sowie Emissionsminderung. Genutzt wird das wissenschaftlich-technische Know-how neben der experimentellen Entwicklung für Beratungsleistungen in Form von Studien

und Gutachten. Der hohe Bedarf an Entwicklung und Beratung schlug sich in insgesamt 52 F&E-Aufträgen in den Jahren 2016 bis 2018 nieder.

Das technische Potenzial für die Kopplung von Energie- und Stoffwandlung bei der thermischen Abfallverwertung ist noch lange nicht ausgeschöpft. So ist im Hausmüll der Grauen Tonne und aufbereiteten Ersatzbrennstoffen zwar die Konzentration vieler Elemente gering; durch eine Verbrennungskapazität von ca 25 Mio. t/a in deutschen Müllverbrennungsanlagen und EBS-Kraftwerken kann die Ab-solutmenge aber hoch sein. Eine denkbare Kopplung von energetischer und stofflicher Verwertung zeigt Abb. 2.

Wie zu sehen ist, besitzt eine Abfallverbrennungsanlage gemäß Stand der Technik etablierte Baugruppen. Strom wird traditionell als Grundlast mit zurzeit niedrigem Erlös erzeugt. Technische Lösungen zur Abgabe eines Teils als erlörsträchtigerem Spitzenstrom setzen sich nur langsam durch. Vom Prinzip wäre die Nutzung des elektrischen Stroms in Kombination mit dem CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung und die kontinuierliche Produktion von CH<sub>4</sub> (Methan), welches ins Erdgasnetz einspeisbar ist, denkbar. Aufgrund der hohen Speicherwirkung des Erdgasnetzes werden die Produktion des Energieträgers und Strom- und Wärmespitzen des Verbrauches voneinander entkoppelt. Das CO<sub>2</sub> wird nicht unmittelbar als Emission in die Atmosphäre abgegeben, sondern stofflich für einen Energieträger genutzt.

Dass die Gedanken der CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus dem Abgas mit dem Ziel einer stofflichen Nutzung nicht aus der Luft gegriffen sind, zeigen z. B. die Veröffentlichungen von Prof. Karpf (ete.a und THM Gießen) und Dr. Bergins (Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe) [1] sowie das Demonstrationsprojekt der Aker Solutions an der MVA in Oslo (Norwegen) [2].

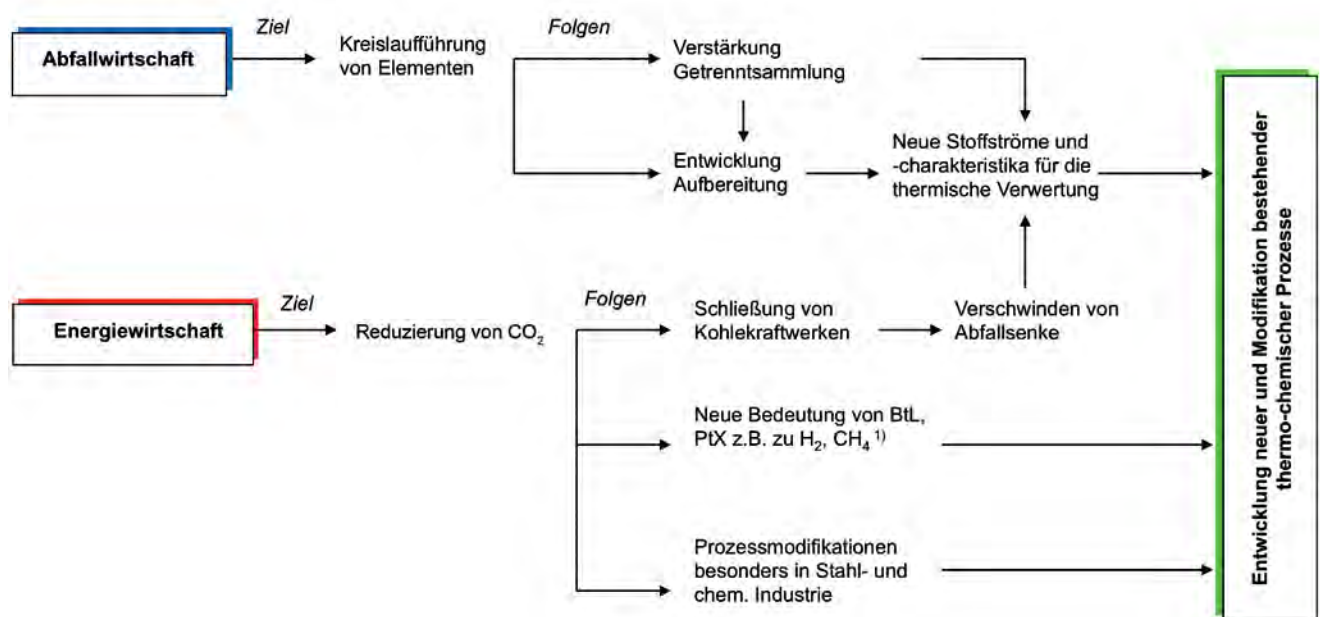
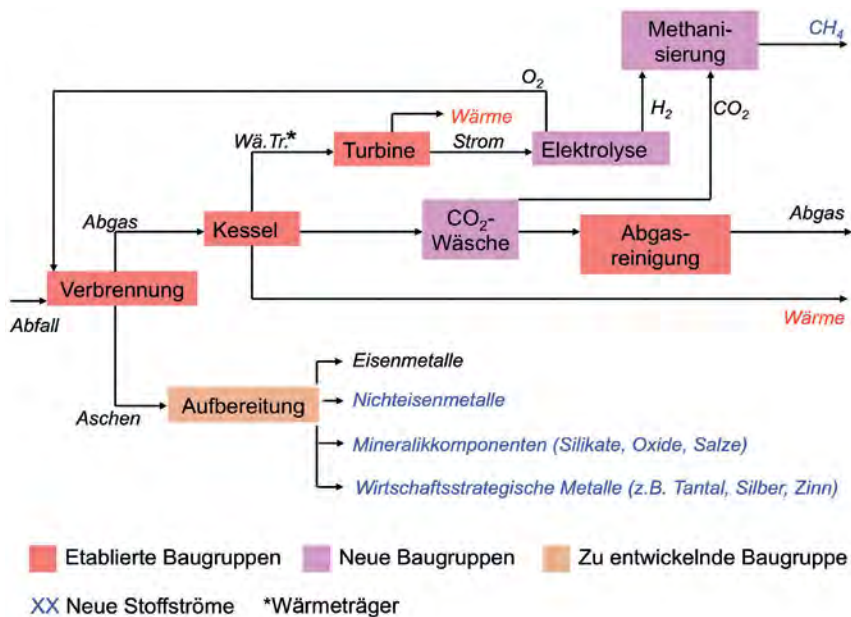


Abb. 1: Auswirkungen der Rahmenbedingungen in Abfall- und Energiewirtschaft, Quelle: CUTEK, Abt. TP

<sup>1)</sup>: BtL: Biomass to Liquid, PtX: Power to Chemicals, H<sub>2</sub>: Wasserstoff, CH<sub>4</sub>: Methan

## Mit voller Energie für eine nachhaltige Sekundärrohstoffsicherung



Das Potenzial der Aufbereitung von Rost- und Flugaschen stellt die neueste BMBF-Bekanntmachung zur Ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft vom 6. Dezember 2018 dar.

Die TU Clausthal als technische Universität mit hoher Kompetenz im Bereich der Grundstoffindustrie kann Know-how bei der Entwicklung gekoppelter Prozesse mit thermo-chemischer Wandlung und stofflicher Aufbereitung bereitstellen. Besonders für Aufgaben mit Abfall- und Reststoffen besitzt die Abteilung Thermische Prozesstechnik des CUTEC-Forschungszentrums dabei eine moderne apparatetechnische Ausstattung für F&E-Aufgaben der Zukunft. (vo)

[1] Karpf, R. H., Bergins, C.: CO<sub>2</sub>-Abscheidung bei der Abfallverbrennung; Müll und Abfall 5 2016, S. 228-239  
[2] Aker Solutions testet CO<sub>2</sub>-Abscheidung an Müllverbrennungsanlage in Oslo, EUWID Recycling und Entsorgung 7.2016, S. 23

Abb. 2: Entwicklung von Abfallverbrennungsanlagen – Technische Möglichkeiten der Zukunft, Quelle: CUTEC, Abt. TP

## Konzeptstudie bewilligt: Regionale Phosphorverwertung aus kommunalen Abwässern in Südost-Niedersachsen

Die Rückgewinnung und Verwertung von Phosphor aus Abwässern ist in Deutschland je nach Kläranlagenausbaugröße ab 2029 oder 2034 gesetzlich vorgeschrieben. Derzeit sind nur wenige Verfahren verfügbar und diese zum Teil auch kostspielig und energieaufwändig. Um eine breitere und effizientere Technologiebasis einschließlich wissenschaftlicher Bewertung zu schaffen, wurde im Rahmen der BMBF-Ausschreibung „RePhoR“ um innovative Konzepte für Pilot- und Demonstrationsprojekte gebeten. Nur die bewilligten Konzeptstudien haben die Möglichkeit, in der zweiten Phase einen Antrag für ein ein- bis zu fünfjähriges Demonstrationsvorhaben zur Phosphorverwertung zu stellen.

Das CUTEC Forschungszentrum, Abteilung Abwassertechnik, hat kürzlich die Bewilligung für eine Konzeptstudie Regio-P2 zur Phosphorverwertung aus kommunalen Abwässern der Regionen Wolfsburg und Wolfenbüttel erhalten. Kern unseres Ansatzes ist ein Kreislauf „Phosphor aus der Region für die Region“ mit erheblichen Synergieeffekten in Bezug auf Energieeffizienz. Letzteres soll soweit optimiert werden, dass eine kosteneffizientere Phosphorverwertung und eine gleichzeitige Klimaentlastung durch geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht im Widerspruch stehen.

Erreicht werden soll dies mit der druckgetriebenen Verdampfungstrocknung der BMA Braunschweigischen Maschinenbauanstalt AG, die eine weitgehend wärmeverbrauchsneutrale Produktion von trockenem Klärschlamm-Brennstoff ermöglicht und dabei einen heißen Trocknerbrüden zur Verfügung stellt, mit dem man auf der Kläranlage verstärkt Phosphor in Lösung bringen und zurückgewinnen kann.

In Zusammenarbeit mit den Betreibern der Kläranlagen Wolfsburg und Wolfenbüttel, d. h. den Wolfsburger Entwässerungsbetrieben WEB und dem Abwasserbeseitigungsbetrieb Wolfenbüttel AÖR, sowie EWERT Consult GmbH und BMA AG werden verschiedene kläranlageninterne Prozessoptionen untersucht und bewertet. Aus dem zurückgewonnenen Phosphor soll ein Düngemittel hergestellt werden, das auf die Belange der Landwirtschaft in der Region zugeschnitten ist. Hierzu erfolgt eine Kooperation mit dem Abwasserverband Wolfsburg, der als Abnehmer auf ca. 1.500 ha landwirtschaftliche Nutzfläche zurückgreifen kann.

Eine weitergehende, flexible Phosphorverwertung als Phosphorsäure für die Düngemittelindustrie wird in Zusammenarbeit mit der Fa. Parforce Technologie GmbH, einer Ausgründung der TU Freiberg, untersucht und bewertet, weil beide Kläranlagenbetreiber mit einer eigenen Klärschlammverbrennung planen, um selbst von der energetischen Verwertung des Klärschlamm-Brennstoffes zu profitieren. Die Verwertung der Asche muss deshalb mitbetrachtet werden. Die Thematiken Klärschlammverbrennung, Asche- und Reststoffverwertung werden in Zusammenarbeit mit der Fa. GETEC, Magdeburg und der CUTEC-Abteilung Thermische Prozesstechnik bearbeitet.

Das Vorhaben hat eine Laufzeit von sechs Monaten bis Ende Juli 2019. In dieser Zeit werden auch weitere, notwendige Projektpartner für ein mögliches Demonstrationsvorhaben gesucht. Ansprechpartner ist Prof. Sievers, erreichbar unter: michael.sievers@cutec.de oder michael.sievers@tu-clausthal.de (si)



## Neue Möglichkeiten für Forschungsvorhaben zur Pyrolyse

Thermochemische Reaktionen können bei Abwesenheit von Sauerstoff ( $\rightarrow$  Pyrolyse), unter Sauerstoffmangel ( $\rightarrow$  Vergasung) oder -überschuss ( $\rightarrow$  Verbrennung) durchgeführt werden. Das Verfahren der Pyrolyse ist, besonders im Harz, durch die Verschmelzung von Holz zu Holzkohle in sogenannten Kohlenmeilern bekannt. Der Charme der Technologie liegt darin, dass durch das Fehlen atmosphärischen Sauerstoffs und die Zufuhr thermischer Energie Feststoffe thermochemisch „zerbrochen“ werden zu neuen Produkten. Wertstoffe können sein: 1. der Feststoff, auch „Koks“ genannt, 2. eine kohlenwasserstoffreiche Gasphase, welche nach der Kondensation teilweise als „Öl“ vorliegt oder 3. ein heizwertreiches Gas, bestehend aus einfachen Molekülen, genannt „Permanentgas“.

Am CUTEC wird F&E zur Pyrolyse schon seit der Anfangsphase betrieben. Projekte befassten sich mit der Zersetzung von hausmüllähnlichen Abfällen, der Gewinnung von Monomeren aus polymeren Reststoffen, der Umsetzung von Klärschlamm und verschiedener Biomassen sowie der mathematischen Modellierung von Vorgängen im Reaktor. Öffentlich geförderte Vorhaben sind die kleinere Seite der Finanzierung; Hauptgeldgeber bilden Industrie-

unternehmen im Rahmen von Auftragsforschung. Zur Verfügung steht ein Drehrohr (siehe Abb. 1) mit angeschlossenen Brennern und Abgasreinigung.

Die Anlage wurde in den letzten 25 Jahren permanent modernisiert. Als Forschungseinrichtung in Technikumsgröße erlaubt sie ein realitätsnahes Übertragen der Ergebnisse in kommerzielle Projekte. Schon im Ursprungszustand war es möglich, eine Reihe von Verfahrensparametern zu variieren. Durch die verstärkte gesellschaftliche Aufgabenstellung der Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus Abfällen und Reststoffen kamen zusätzliche Anforderungen hinzu. Um die Vorhaben zu ermöglichen, wurden neue verfahrenstechnische Möglichkeiten geschaffen. Zu nennen ist z. B. die Gegenstromführung von Gas und Feststoff, mit der Veränderungen in Reaktionskinetik sowie Gas-/Feststoffgleichgewicht und damit die Beeinflussung von Produkteigenschaften besonders des Kokes zu erreichen sind. Der Einbau eines Mischers im Drehrohr führt zu verbessertem Mischverhalten gezielt bei schweren Ausgangsstoffen. Der Bau eines Vollkondensators ermöglicht die Gewinnung höherer Mengen an Öl; eine zugehörige Reinigungsapparatur erleichtert die Abreinigung (siehe Abb. 2).

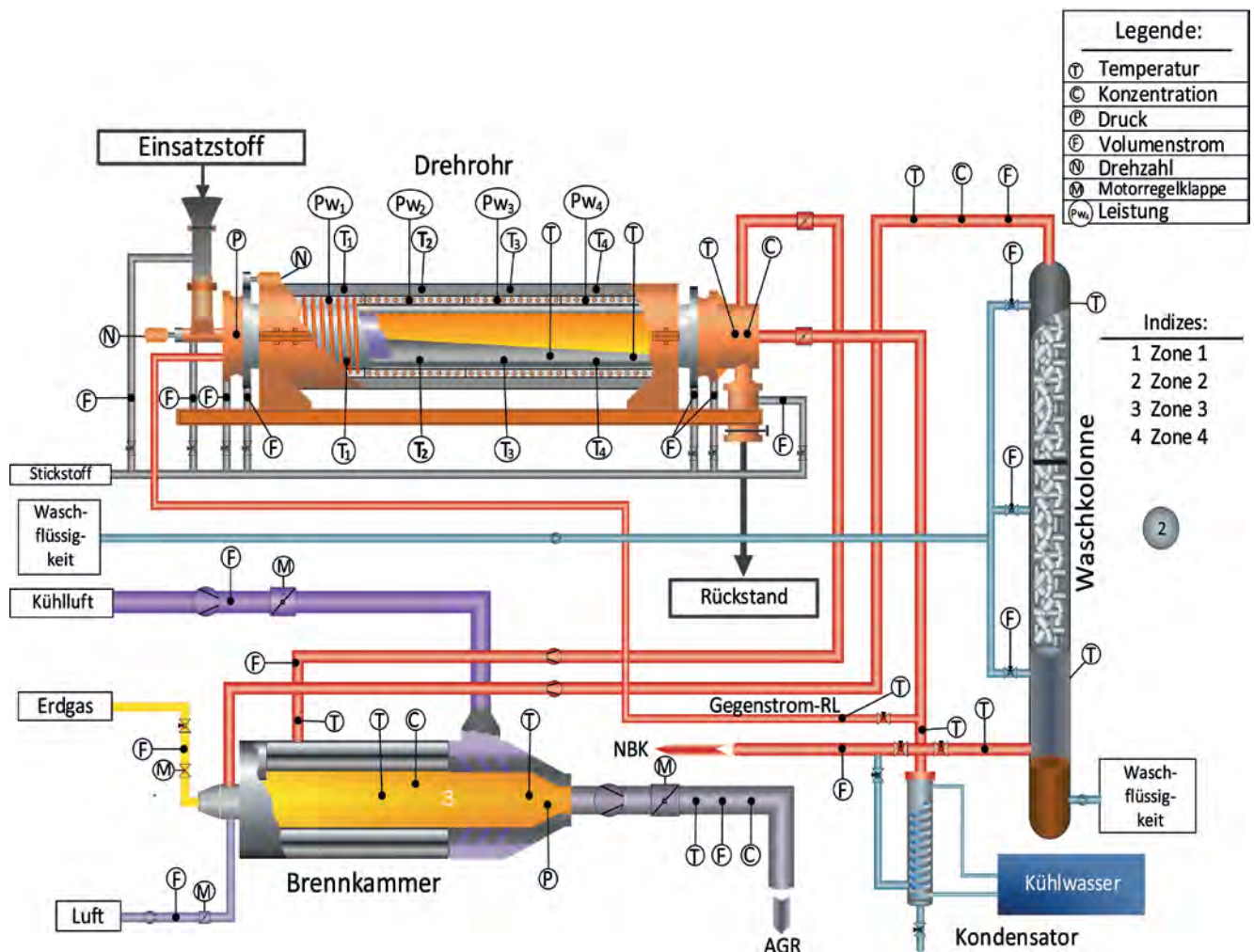


Abb. 1: Schematische Darstellung des Pyrolysedrehrohrs des CUTEC, Quelle: CUTEC, Abt. TP

AGR: Abgasreinigung, NBK: Nachbrennkammer, RL: Rückleitung

## Neue Möglichkeiten für Forschungsvorhaben zur Pyrolyse

Mit dem Einbau einer Additivzuführung können chemische Reaktionen im Reaktor ermöglicht werden, welche nicht nur aus Zersetzung bestehen. Abschließend soll die Installation einer Stickstoffspülung im Eintragssystem erwähnt werden, welche Sauerstoff aus dem Porenvolumen des Eintragsmaterials austreiben kann. Ziel ist die Verbesserung der Ölqualität.

Mit den neuen apparate- und verfahrenstechnischen Möglichkeiten ist das Forschungsgebiet der Pyrolyse weiter gut für kommende Aufgabenstellungen aufgestellt. Angestrebt wird, im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten sowie Dissertationen die anwendungsnahe Forschung und Entwicklung um grundlagenorientierte Themen zu erweitern. (vo)



Abb. 2: Vollkondensator (links) und Reinigungseinrichtung (rechts), Fotos: CUTEC, Abt. TP

## Energie- und Ressourceneinsparung in Zügen durch elektrochemische Abwasserreinigung

Beim Thema Energie denkt wohl niemand an Zugabwasser. Dass beide Themen jedoch prima harmonieren, zeigt das Projekt RADAR eindrucksvoll. In RADAR geht es um die elektrochemische Reinigung von Zugabwasser. Nach der Reinigung soll das Zugabwasser später wieder als Spülwasser für die Vakuumtoiletten eingesetzt und somit der Wasserkreislauf geschlossen werden.

Kernstück des Reinigungsprozesses ist ein Elektrolysereaktor, bei dem hoch reaktive Spezies aus Wasser erzeugt werden. Möglich wird dies durch die Kombination aus bordotierter Diamantelektrode (BDD) und Gasdiffusionselektrode (GDE). An der BDD, die die Anode darstellt, werden OH-Radikale und Ozon generiert, während an der als Kathode geschalteten GDE Wasserstoffperoxid erzeugt wird, bei gleichzeitiger Unterdrückung der Wasserstoffbildung.

Aus energetischer Sicht ergibt sich aus der Kombination von BDD und GDE ein weiterer entscheidender Vorteil: gegenüber bisher untersuchten Reaktoren mit zwei BDD konnte die Spannung deutlich verringert werden. Da die Spannung zwischen den beiden Elektroden maßgeblich die Energiekosten der Elektrolyse bestimmt, sinken bei verringerter Klemmspannung auch die laufenden Betriebskosten und die Emissionen. Doch nicht nur im Vergleich zu einem System mit zwei BDD ergibt sich ein Einsparpotenzial, auch gegenüber bekannten Verfahren wie Ozonung, Peroxon- oder UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Behandlung

konnte gezeigt werden, dass das BDD/GDE-System einen geringeren spezifischen Energiebedarf hat, bei gleichzeitig verbesserter Reinigungsleistung.

Für den geplanten Einsatz in Zügen ergeben sich darüber hinaus weitere Vorteile. Das neue elektrolytische Verfahren hat gegenüber den konventionellen „Advanced Oxidation Processes“ einen deutlich geringeren Platzbedarf. Durch die geplante Aufbereitung von Zugabwässern sinkt außerdem die Menge an Frisch- und Abwässern in Zügen, was einen positiven Effekt auf den Treibstoffverbrauch dieses Verkehrsmittels hat. (ha)



Kabine und Vakuumtoilette eines Zuges, Foto: EVAC GmbH

# Netzintegration von erneuerbaren Energien in Sri Lanka

Im Jahr 2016 wurden 66 % des Elektrischen Stroms in Sri Lanka aus fossilen Brennstoffen erzeugt. Einheimische fossile Ressourcen sind knapp, daher werden die zur Stromerzeugung verwendeten fossilen Brennstoffe importiert, was einen erheblichen Teil der Importausgaben von Sri Lanka darstellt. Der Rest des erzeugten Stroms stammt aus großen Wasserkraftwerken und anderen erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaik-, Kleinwasserkraft- und Windkraftanlagen. Der Beitrag der Photovoltaik- und Windkraftanlagen ist jedoch sehr gering und befindet sich noch in sehr frühen Stadien des Einsatzes. Andererseits steigt der Strombedarf in Sri Lanka kontinuierlich an.

Sri Lanka verfügt aufgrund der geografischen Lage in der Nähe des Äquators und des Indischen Ozeans über sehr große Potenziale für Solar- und Windenergie. Daher bietet sich für den Inselstaat die Möglichkeit, seine Energiezukunft zu sichern, indem es sich auf die Entwicklung und Nutzung einheimischer, erneuerbarer Energiequellen konzentriert, um die wachsende Nachfrage zu befriedigen und die wirtschaftliche Belastung durch Importe zu verringern.

Darüber hinaus hat Sri Lanka auf der 22. UN-Rahmenkonferenz der Vereinten Nationen über Klimaänderungen in Marrakesch (Marokko) zugesagt, bis 2050 ausschließlich erneuerbare Energie für die Stromerzeugung zu verwenden. Daher besteht die dringende Notwendigkeit, die Möglichkeit der Implementierung eines vollständig erneuerbaren Stromsystems, das für klimatische und geographische Bedingungen in Sri Lanka ausgelegt ist, zu prüfen.

Im Rahmen der Promotion von Herrn Chaminda Ranaweera aus Sri Lanka wurden am CUTEC wissenschaftliche Untersuchungen zur Netzintegration von erneuerbaren Energien in

Sri Lanka durchgeführt. Es wurden Bedingungen untersucht, unter welchen ein System, bestehend aus 100 % erneuerbaren Energien, errichtet und stabil gehalten werden kann.

In der Doktorarbeit wurde ein Modell eines solchen Systems entwickelt und dargestellt. Für die Fallstudie wurde ein typisches geografisches Gebiet im Süden Sri Lankas ausgewählt, das die Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen, die Verfügbarkeit von Daten und die geografische Lage berücksichtigt. In der ausgewählten geografischen Region sind gute Solar- und Windressourcen vorhanden, weiterhin gibt es drei Wasserkraftwerke und zehn HS-MS Umspannwerke.

Die Bevölkerung und der jährliche Strombedarf dieser Region betragen rund 20 % der nationalen Bevölkerung bzw. des Strombedarfs. Dieses Gebiet umfasst sowohl flaches Gelände als auch hügeliges Terrain. Unter Berücksichtigung aller Randbedingungen des betroffenen Gebiets kann es in der Analyse als ein verkleinertes Modell des nationalen Stromnetzes betrachtet werden.

Um ein nachhaltiges und zu 100 % erneuerbares Energiesystem zu bilden und zu stabilisieren, wurde eine Evaluierung des Strombedarfs, des Spitzenbedarfs und eines zutreffenden erneuerbaren Energiequellen-Mix vorgenommen.

Der stündlich gemittelte Strombedarf, der für ein Jahr von jedem Umspannwerk aufgenommen wurde, diente als Grundlage für die Auslegung der regenerativen Erzeugungseinheiten und Energiespeichersysteme im Modell. Als Grundlage für die Berechnung des Wasserkraftpotenzials wurden die schon vorhandenen Wasserkraftwerke im ausgewählten Gebiet der Fallstudie verwendet. Das Solar- und Windkraftpotenzial in Sri Lanka wurde anhand der verfügbaren Karten für Solar- und Windressourcen ermittelt.

Angesichts der Vor- und Nachteile eines solaren Nachführungssystems wurde für diese Fallstudie eine feststehende PV-Anlage betrachtet. Darüber hinaus wurde ein für die Region passender Energiemix aus Solar- und Wind-, als auch aus Wasserkraftanlagen ermittelt. Dieser setzt sich zusammen aus 19 % Wasser-, 39 % Wind- und 42 % Solarenergie.

Um die Verfügbarkeit der aus erneuerbaren Energiequellen erzeugten Energie zu erhöhen und damit die zeitgesteuerte und sichere Stromversorgung bereitzustellen, wurde zusätzlich zum Stromerzeugungsmix die notwendige Größe des Energiespeichers ermittelt. Sie beträgt 1,8 GWh.

Die stündlichen Simulationsergebnisse der Fallstudie zeigen, dass das vorhandene Potenzial und die eingesetzten Technologien der erneuerbaren Energien das ganze Jahr über eine zuverlässige Stromversorgung ermöglichen. Die sich in diesem Modell daraus ergebenden Stromgestehungskosten sind niedriger als die Stromkosten, die auf fossilen Brennstoffen basieren.

Das System erfordert jedoch eine große Energiespeicherkapazität für die vollständige Versorgung mit erneuerbaren Energien. Des Weiteren muss unter anderem eine bestimmte Menge an synchroner Trägheit aus herkömmlichen synchronen Stromerzeugungsquellen (z. B. Wasserkraft) für die Frequenzstabilität bereitgestellt werden. (kt)



Geografisches Gebiet von Sri Lanka für die Fallstudie,  
Grafik: Chaminda Ranaweera, Dissertation\* TU Clausthal



## Redox-Flow-Batterie

Ein neues Element im erweiterten Energiepark 4.0 des CUTEC Forschungszentrums konnte Ende September 2018 in Betrieb genommen werden. Es handelt sich hierbei um eine Redox-Flow-Batterie. Die sogenannte Cellcube eines österreichischen Herstellers wurde vom EST in Goslar übernommen, dort abgebaut, nach Clausthal transportiert und auf dem CUTEC-Gelände wieder aufgestellt. Danach erfolgte die Anbindung an die vorhandene Infrastruktur und die Wiederinbetriebnahme.

Der Redox-Flow-Prozess stellt sich hier als eine wieder-aufladbare Batterie mit regelmäßigen Lade- und Entladezyklen dar. Die Batterie ist als ein elektrochemischer Durchlaufreaktor aufgebaut. Die einzelnen in Serie geschalteten Zellen sind jeweils durch eine Membran getrennt und mit Elektroden versehen. Zwei unterschiedlich geladene Elektrolyten werden durch die Halbzellen geleitet und dabei kann im Redox-Prozess elektrische Energie dem einen Elektrolyten zugeführt und somit chemisch gespeichert werden. Im Umkehrverfahren wird dem Elektrolyten die elektrische Energie wieder entzogen. Im vorliegenden Fall handelt es sich bei dem Elektrolyten um in Schwefelsäure gelöste Vanadiumsalze. Die Elektrolyten sind in Tanks in der als Container ausgeführten Anlage gelagert. Der Elektronenfluss im Entladevorgang (als Gleichstrom) wird über Wechselrichter in netzkompatiblen Wechselstrom umgewandelt. Die Beladung erfolgt ebenfalls mit den Wechselrichtern. Wie bei allen elektrochemischen Prozessen hängt die Leistungsfähigkeit des Systems vom Ladezustand (SOC = state of charge) und der Temperatur des Elektrolyten ab. Nach Aussagen des Herstellers liegen die Wirkungsgrade bei 70 % bis 75 %, zum Teil bei über 80 %.



Die Redox-Flow-Batterie vor der Versuchshalle, Foto: Werner Siemers, CUTEC

Die Kapazität der Cellcube liegt bei 100 kWh als Speichermöglichkeit, wobei die dazugehörige Leistung 10 kW bis maximal 15 kW beträgt. Über den vorhandenen Leitstand des Energieparks wird die Cellcube angesteuert und bei Stromüberschuss (im Sommer aus der PV-Anlage, im Winter durch das Erdgas-BHKW) aufgeladen und bei erhöhtem Strombedarf wieder entladen (tagsüber oder für den Betrieb der Ladesäule). (sie)

## Der Sektorkopplung den Weg bereiten

### CUTEC im Arbeitskreis der 8. Regierungskommission vertreten

Während die Energiewende im Strombereich in den letzten Jahren bereits eine beeindruckende Entwicklung vollzogen hat, gilt es nun, auch im Wärme- und Verkehrssektor entsprechende Fortschritte zu erzielen. Dazu bedarf es einer integrierten Betrachtung der einzelnen Sektoren. Wo der direkte Einsatz erneuerbarer Energien nicht möglich ist, muss regenerativer Strom künftig möglichst effizient auch in den Sektoren Wärme und Verkehr eingesetzt werden. Welche Hemmnisse dabei vorliegen und wie Lösungsoptionen aussehen könnten, sind Fragestellungen, mit denen sich der Arbeitskreis „Hemmnisse der Sektorkopplung und Lösungsansätze“ der 8. Regierungskommission „Nachhaltige Umweltpolitik und Digitaler Wandel“ der Niedersächsischen Landesregierung befasst.

Dem Arbeitskreis gehören Vertreter von Politik, Kommunen, Wirtschaft, Gewerkschaften, Umweltverbänden und der Wissenschaft an. Als Mitglieder aus der letztgenannten Gruppe wurden unter anderem Dr. Andreas Lindermeir

und Dr. Jens zum Hingst vom CUTEC Forschungszentrum berufen.

Die niedersächsische Regierungskommission blickt auf eine lange und erfolgreiche Tradition von mittlerweile 30 Jahren zurück und hat sich in der Vergangenheit als unabhängige Beratungsinstanz für die Landesregierung bewährt. Neben der Sektorkopplung werden in weiteren Arbeitskreisen der aktuellen Regierungskommission Fragestellungen zur nachhaltigen Chemikalienpolitik, zur Produktverantwortung und Ressourceneffizienz, zur Kreislauf- und Abfallwirtschaft sowie zum Emissionsrechtehandel erörtert.

Als Vorsitzende der 8. Regierungskommission wurde auf der konstituierenden Sitzung die Vorstandsvorsitzende der Enercity AG, Dr. Susanna Zapreva, bestimmt. Die einzelnen Arbeitskreise berichten an die Regierungskommission, die Ergebnisse werden dann in Abschlussberichten dokumentiert und sollen der interessierten Fachöffentlichkeit vorgestellt werden. (li)

## Simulation CUTEK-Energiebedarf

Die Kenntnis über den zukünftigen Bedarf an elektrischer Energie spielt eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung der Energiesysteme von der Erzeugung bis zur Nutzung. Die Lastprognosen im Allgemeinen sind für die Energiewirtschaft und die Liberalisierung des Elektrizitätsmarkts von besonderer Bedeutung. Um einen effizienten, sicheren und wirtschaftlich optimalen Betrieb in einem Energiesystem zu erreichen, ist es notwendig, das Energiesystem und den dazugehörigen Strombedarf rechtzeitig zu analysieren und schnell auf Änderungen der elektrischen Last zu reagieren. Sie sind in hohem Maße von einer genauen kurzfristigen Lastprognose abhängig.

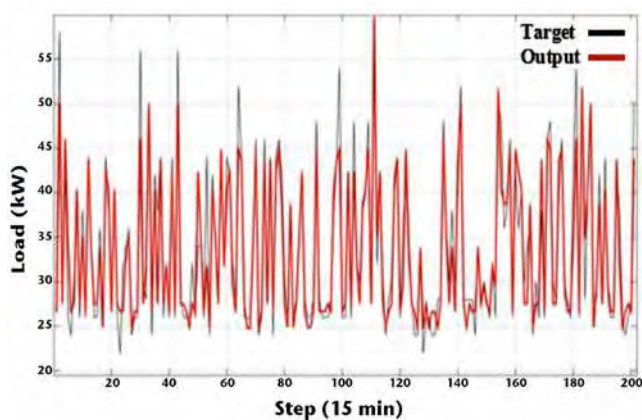


Abb. 1: Ist-Soll Diagramm für Testdaten bei wöchentlicher Lastvorhersage, Abbildungen: Ali Hashemifarzad, CUTEK

Auf der anderen Seite ist die Lastvorhersage auch für die Energieversorger und andere an der Stromerzeugung, -übertragung, -verteilung und am Strommarkt Beteiligten bei der Planung und Strukturierung von großer Bedeutung. Eine zeitnahe Implementierung langfristiger Lastprognosen hilft dem System, die Netzwerkstabilität zu verbessern, die Ausfälle von Geräten und Stromausfällen zu reduzieren und eine zuverlässige Energieversorgung zu gewährleisten.

Diese Forschung versucht, einen neuen Ansatz für das Problem der Lastprognose vorzuschlagen, um genauere Ergebnisse mit einer geringeren Fehlerquote zu erreichen. Dazu wird eine Methodik eingeführt, die auf den Theorien Chaos und Concept Drift basiert und bei der das Adapti-

ve Neuro-Fuzzy-Inferenzsystem (ANFIS) das die Hauptrolle beim Trainieren und Testen des Modells spielt.

Als Fallstudie wurde die elektrische Last des CUTEK-Instituts aus dem Jahr 2014 ausgewählt. Diese Daten wurden basierend auf der Concept Drift Theorie analysiert, um die Ähnlichkeiten und Wiederholungen darin zu finden. Diese wurden dann dazu benutzt, die Daten zu kategorisieren. Danach wurde die Existenz von Chaos in der Zeitreihe untersucht. Eine chaotische Zeitreihe, die auf einem deterministischen System basiert, enthält genügend Informationen, um durch die in dieser Dissertation vorgeschlagene Methode vorhergesagt zu werden.

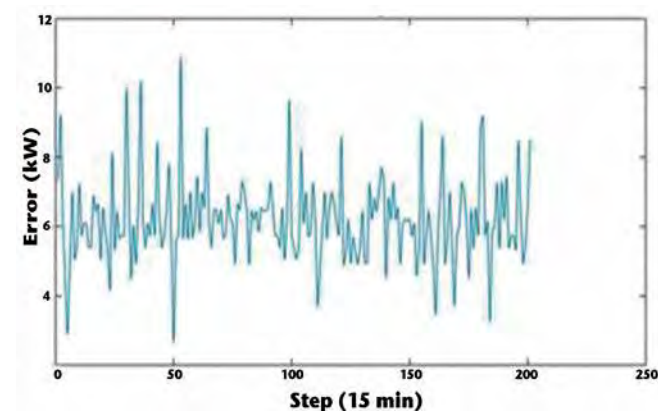


Abb. 2: Fehlerdiagramm für Testdaten bei wöchentlicher Lastvorhersage

Die kategorisierten Daten wurden dann systematisch in ein ANFIS-Modell eingegeben und eine Wochen-, Monats- und Saisonprognose durchgeführt. Dazu wurden 75 % der Daten zufällig ausgewählt und die Evaluation der Verfahren erfolgte auf Basis der 25 % Rest realer Lastdaten. Die Abb. 1 und 2 zeigen das Ist-Soll Diagramm sowie das Fehlerdiagramm für Testdaten bei einer wöchentlichen Lastvorhersage.

Die Prozentsätze des absoluten Fehlers des Erwartungswertes (MAPE) aller Zeithorizonte liegen zwischen 2,1 und 2,6 %, was deutlich niedriger ist als bei den meisten berichteten ähnlichen Fälle in anderen Studien, und das vorgeschlagene Verfahren zeigt einen effizienteren, zeitsparenderen und präziseren Ansatz für die Vorhersage der elektrischen Last (Tab. 1).

Tab. 1: Ergebnisse des Modells für wöchentliche, monatliche und saisonale Lastprognose

Method	Type	MAPE
ANN-Chaos	Short-term	2,3
ANFIS-Chaos		2,1
ANN-Chaos	Mid-term	3,7
ANFIS-Chaos		2,1
ANN-Chaos	Long-term	21,6
ANFIS-Chaos		2,6

## Simulation CUTECE-Energiebedarf

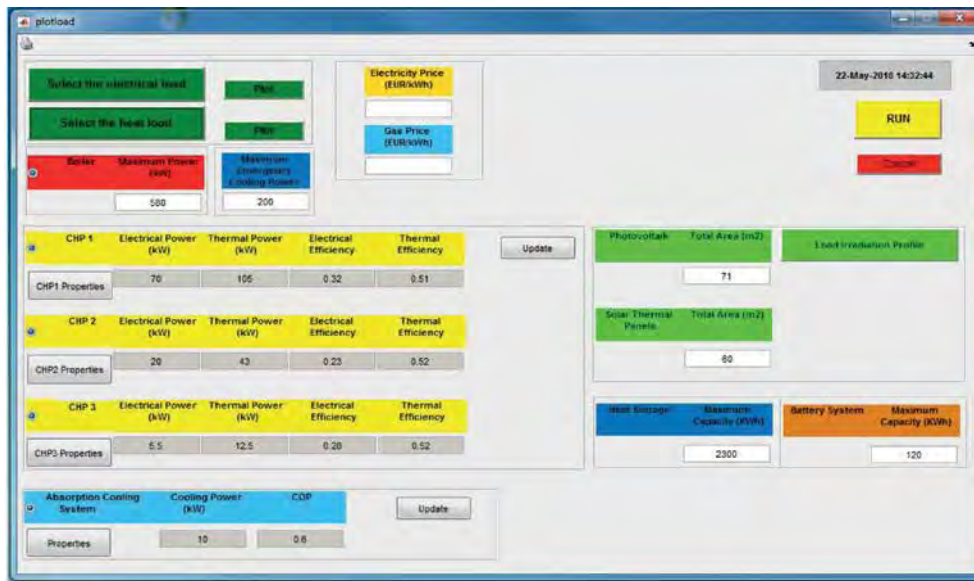


Abb. 3: Benutzeroberfläche

den Wirkungsgrad oder die Speicherkapazität (Abb. 3). Das Modell liefert Informationen über den Fahrplan jedes Moduls, die auch als Excel-Datei exportiert werden können. Zudem werden auch verschiedene grafische Darstellungen wie z. B. Speicherstatus generiert (Abb. 4). Dieses Modell wurde mit dem Energiepark im CUTECE validiert. Die Simulationsergebnisse für das Jahr 2014 wurden dann mit den Ergebnissen einer kommerziellen Energiemanagementsoftware (EnergyPro) verglichen. Die Ergebnisse lagen in der

Darüber hinaus beinhaltet diese Forschung ein Simulationsmodell für ein dezentrales Energiesystem (DES), das in den Programmen in MATLAB und SIMULINK implementiert wurde. Der Benutzer kann die elektrische sowie thermische Last als Zeitreihe über eine Benutzeroberfläche hinzufügen und die Priorität und zusätzliche Details der Anlagen definieren, wie z. B. die Nennleistung,

gleichen Größenordnung mit einem vernachlässigbaren Unterschied von weniger als 1 %.

Dieses Modell, sowie die Lastprognoseverfahren wurden in der Dissertation von Ali Hashemifarad vorgestellt. Die Arbeit wurde in der Zwischenzeit bei der Fakultät für Energie und Wirtschaftswissenschaften der TU Clausthal eingereicht. (hd)

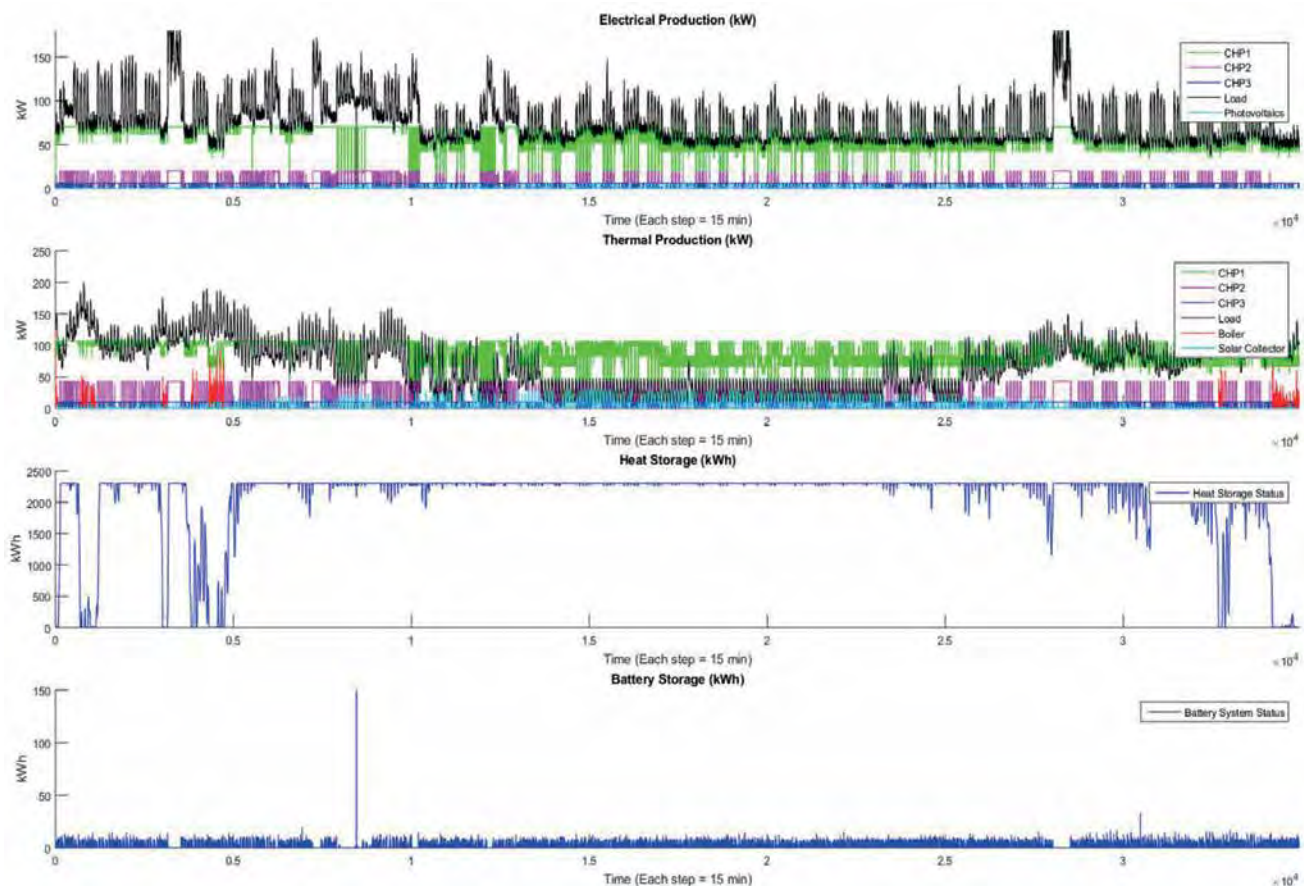


Abb. 4: Grafische Darstellung der Ergebnisse für das Jahr 2014



## Praxisnahe Berufsvorbereitung für Nachwuchswissenschaftler

CUTEC veranstaltete bereits zum 11. Mal die Summer School „Brennstoffzellen und Batterien“



Gruppenfoto mit Teilnehmenden und Organisatoren,  
Fotos: Marisol Glasserman, TU Braunschweig

Batterie- und brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge, erdgasbetriebene Brennstoffzellenheizungen, netzferne und dezentrale Batteriespeicher sind nur einige Beispiele, in denen Brennstoffzellen und Batterien bereits heute eingesetzt werden und mit denen sich die Teilnehmer der 11. Niedersächsischen Summer School „Brennstoffzellen und Batterien“ vom 17. bis 21. September intensiv auseinandersetzen. Gut 40 Studierende, Doktoranden und junge Ingenieure technischer und naturwissenschaftlicher Fachrichtungen waren dazu nach Braunschweig angereist, um Herausforderungen und Chancen der Brennstoffzellen- und Batterietechnologie kennenzulernen.

Bereits seit 2008 wird die Summer School „Brennstoffzellen und Batterien“ vom CUTEC in Kooperation mit einem niedersächsischen Partnerinstitut organisiert. In diesem Jahr war die TU Braunschweig mit dem Institut für Energie- und Systemverfahrenstechnik Mitorganisator und -ausrichter. Erstmals trat auch das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) als Mitveranstalter auf.

Während der fünftägigen Veranstaltung wurden zunächst die wissenschaftlichen Grundlagen der jeweiligen Technologien im Detail betrachtet. Darauf aufbauend erfuhren die Teilnehmer dann aus erster Hand, wie weit die Entwicklung in der Industrie fortgeschritten ist und welche Probleme für eine weitere Verbreitung noch gelöst werden müssen. Der direkte Austausch zwischen Teilnehmern und den hochkarätigen Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Industrie ist, neben der reinen Wissensvermittlung, eines der zentralen Ziele der Veranstaltung. Dazu trägt auch das umfangreiche Rahmenprogramm mit Grillabend, Gesprächsabend, Stadtführung und Exkursion bei. So war eine Exkursion zur IAV GmbH nach Gifhorn, bei der sich die Teilnehmer vor Ort über die aktuellen Arbeiten im Bereich der Brennstoffzellen- und Elektrolysetechnologie informieren konnten, ebenfalls Teil des Programms. Abgerundet wurde das Angebot durch praktische Übungen: Im Rahmen von Hands-on-Versuchen konnten die Teilnehmer selbst unterschiedliche Batterien aufbauen und charakterisie-

ren und Versuche mit Elektrolyseuren und Brennstoffzellen durchführen. Den Abschluss der Veranstaltung bildeten dann zwei Vorträge zur Bedeutung der Energiewende für die Wissenschaft und zur zukünftigen Rolle von Energiespeichern für die Energiewende.

Die praxisnahe Berufsvorbereitung trägt bereits Früchte: „Viele Teilnehmerinnen und Teilnehmer früherer Veranstaltungen arbeiten heute in Industrie und Forschung an Lösungen zu Fragestellungen, die in der Summer School thematisiert wurden“, erklärt Dr. Andreas Lindermeir, Abteilungsleiter Chemische Energiesysteme am CUTEC und Hauptorganisator der Veranstaltung. Diesen Erfolg verstehe man als Auftrag, Qualität und Attraktivität der Veranstaltung hoch zu halten: „Als Institute haben wir einen Bildungsauftrag. Aber wir wollen den wissenschaftlichen Nachwuchs nicht nur ausbilden, wir wollen ihn begeistern“, so die diesjährige Gastgeberin Frau Professor Ulrike Krewer, Leiterin des Instituts für Energie- und Systemverfahrenstechnik der TU Braunschweig. Nur durch einen umfassenden Blick auf die Wechselwirkungen zwischen Technologie, Wissenschaft und industrieller Anwendung lassen sich die richtigen Schlüsse für die Einsatzmöglichkeiten von Brennstoffzellen und Batterien ziehen.



Volle Aufmerksamkeit während der Vorträge

Das Fazit der Teilnehmer nach einer Woche mit viel Wissensgewinn, neuen Kontakten aber auch Spaß war eindeutig: „Sehr umfangreicher, abwechslungsreicher Einblick in die Batterie- & Brennstoffzellentechnologie“, „Großer Lernerfolg“, „Tolle Veranstaltung“, „Top organisiert“ waren nur einige der positiven Rückmeldungen, die die Organisatoren darin bestärken, die Veranstaltung auch zukünftig wieder anzubieten.

Ganz besonderer Dank gilt den diesjährigen Gastgebern und Mitveranstaltern vom Institut für Energie- und Systemverfahrenstechnik der TU Braunschweig und dem EFZN sowie der IAV GmbH und der Volkswagen AG für die finanzielle Unterstützung. Und natürlich allen Vortragenden aus Wissenschaft und Industrie, die maßgeblich zum Erfolg der Veranstaltung beigetragen haben!

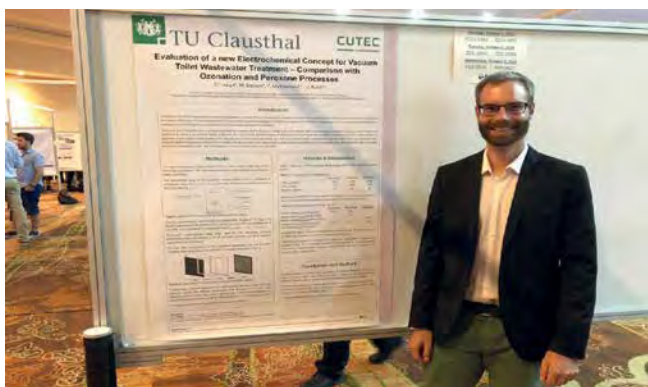
(li)

## CUTEC unterwegs

### CUTEC auf der AIMES-Tagung in Mexiko

CUTEC in Mexiko! Dipl.-Ing. Dennis Haupt bereiste im Oktober 2018 die mexikanische Stadt Cancún für eine Tagung im Bereich Elektrochemie – Americas International Meeting on Electrochemistry and Solid State Science (AIMES). Ausgerichtet wurde die Tagung von fünf Organisationen, die sich mit Elektrochemie beschäftigen, unter anderem der Electrochemical Society (ECS) und der mexikanischen Gesellschaft für Elektrochemie (Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica).

Mit mehr als 1800 Teilnehmern ist die bereits zum 234. Mal durchgeführte Tagung nicht nur eine der größten ihrer Art, sondern auch eine der wichtigsten auf dem Gebiet der Elektrochemie. Über 50 Themenschwerpunkte wurden dabei auf bis zu 16 Parallelsessions aufgeteilt, um die Fülle an Beiträgen und Vorträgen im Tagungszeitraum unterzubringen.



Dennis Haupt präsentiert Ergebnisse aus dem Projekt RADAR bei der AIMES-Tagung in Cancún, Mexiko  
Foto: Thorben Muddemann, TU Clausthal

Neben den klassischen elektrochemischen Gebieten von Batterien und Brennstoffzellensystemen über Sensoren und Galvanotechniken wurden auch relativ junge Gebiete wie die elektrolytische Abwasserbehandlung bedient. Den hohen Stellenwert vom letztgenannten Gebiet zeigt der erste Plenarvortrag der Tagung: Dr. Luis Godinez referierte über die (photo-)elektrochemische Erzeugung von Wasserstoffperoxid für den Fenton-Prozess und stellte damit eine Möglichkeit zur in-situ-Generation von Oxidantien zur Wasserreinigung vor.

Neben den zahlreichen Vorträgen und Fachgesprächen wurden Postersessions durchgeführt, in denen Ergebnisse aus aktuellen Forschungsprojekten vorgestellt wurden. In der Session „Electrochemical Treatment of Contaminated Water, Soil and Air: State of the Art and Trends in Research and Technology of Environmentally Oriented Electrochemical Approaches“ wurden Ergebnisse aus dem Projekt RADAR vorgestellt, welches thematisch mit der elektrochemischen Aufbereitung von Zugabwässern perfekt zum Themenschwerpunkt der Tagung passte.

(ha)

### Abteilung Ressourcentechnik und -systeme (RTS) auf der Recy & DepoTech 2018

Vom 7. bis 9. November fand in Leoben (Österreich) die 14. Recy & DepoTech statt. Mit aktuell mehr als 560 Konferenzteilnehmern/innen gilt sie als die größte Abfallwirtschafts- und Recyclingkonferenz in Österreich. Alle zwei Jahre treffen sich nationale und internationale Vertreter/innen aus Wissenschaft und Wirtschaft, um über aktuelle abfallwirtschaftliche und -technische Themen zu diskutieren – in Plenarvorträgen, Fachvorträgen, im Rahmen der Posterausstellung und beim Abendempfang. Die Tagungsschwerpunkte sind Recycling & Abfallverwertung, Abfallwirtschaft & Ressourcenmanagement, Deponietechnik & Altlasten sowie Internationale Abfallwirtschaft und spezielle Recyclingthemen.

Dipl.-Kfm. Andreas Sauter und Dipl.-Umweltwiss. Jan Schlecht aus der Abteilung RTS stellten einen vielbeachteten Beitrag zur „Entsorgung britischen Haus- und Gewerbemülls in Kontinentaleuropa“ vor.

In dem Vortrag zur internationalen Abfallwirtschaft stellten die Referenten die Umweltauswirkungen verschiedener Arten der Beseitigung britischer Siedlungsabfälle gegenüber. Verglichen wurden die Varianten Deponierung einerseits und andererseits die Behandlung des Abfalls in einer Müllverbrennungsanlage auf der Insel sowie dessen Vorbehandlung für den Export zur weiteren thermischen Verwertung in Müllheizkraftwerken Kontinentaleuropas.

Aus ökologischer Sicht erhöht der grenzüberschreitende Transport britischer Siedlungsabfälle zum europäischen Festland die Gesamtemissionen bezogen auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente gering um fünf bis zehn Prozent. Die zusätzliche Stromerzeugung und Wärmeauskopplung aus thermischer Müllbehandlung kann darüber hinaus zur Versorgung der lokalen Haushalte und Industrie genutzt werden und unter den betrachteten Voraussetzungen zu einer positiven Gesamt-Emissionsbilanz führen. Download der CUTEC-Präsentation unter [www.depotech.at](http://www.depotech.at).

(schl)



Präsentation des Vortrages, Foto: Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft



## Save the Date: 3. bis 5. September 2019

**r<sup>4</sup>-Abschlusskonferenz in Goslar, organisiert vom r<sup>4</sup>-INTRA-Team des CUTEC Forschungszentrums**



Unesco Weltkulturerbe Erzbergwerk Rammelsberg,  
Foto: Andre Bertram, CUTEC

Die Abschlusskonferenz der 2015 gestarteten BMBF-Fördermaßnahme r<sup>4</sup> „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe“ findet vom 3. bis 5. September 2019 in Goslar statt. Es ist bereits die zweite große r<sup>4</sup>-Konferenz, die im Harz abgehalten wird. Dr. Helmut Löwe, Referat „Ressourcen, Kreislaufwirtschaft, Geoforschung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), begrüßte den Vorschlag und ist bereits gespannt. Denn das Weltkulturerbe im Harz ist eng mit dem Thema Ressourcen verbunden.

Authentischer Hauptveranstaltungsort wird – nach der erfolgreichen r<sup>4</sup>-Statuskonferenz 2018 in Berlin – nun das Besu-

cherbergwerk, Museum und UNESCO-Weltkulturerbe „Rammelsberg“ sein, wieder organisiert vom leitenden r<sup>4</sup>-INTRA-Team des CUTEC Forschungszentrums. Wo in mehr als tausend Jahren insgesamt rund 27 Millionen Tonnen silber- und goldhaltige Blei-Zink-Kupfererze gewonnen wurden, präsentieren r<sup>4</sup>-Forscher aus Wissenschaft und Industrie ihre umsetzungsorientierte Ausbeute moderner Rohstoffforschung. Die TU Clausthal ist neben der Abteilung Ressourcentechnik und -systeme des CUTEC Forschungszentrums mit mehreren Instituten an neun der bundesweit 40 r<sup>4</sup>-Verbundprojekte beteiligt: an HTMET, REWITA, ResErVar, DIBRAS, SEMAREC, SEEsand, ELEXSA, GERRI und dem Begleitforschungsprojekt r<sup>4</sup>-INTRA (siehe [www.r4-innovation.de](http://www.r4-innovation.de)).

Zukunftsweisende Ergebnisse zu den Forschungsschwerpunkten Suche und Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung primärer Rohstoffe sowie Rückgewinnung und Kreislaufführung sekundärer Rohstoffe werden in Goslar vielgestaltig vorgestellt – als Vortrag, Poster, Film oder Demonstrator. Analysen der Erzproben, die 2016 bei Sprengungen zu wissenschaftlichen Zwecken in Lautenthal genommen wurden, sind Teil eines Rohstoffkatalogs, das die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Zusammenarbeit mit CUTEC im Projekt HTMET zur Abschätzung des Potentials hochtechnologierelevanter sulfidischer Buntmetallerze erstellte und am Rammelsberg zeigen wird.

Das BMBF fördert den r<sup>4</sup>-Beitrag zum Programm „Forschung für nachhaltige Entwicklung (FONA)“ im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung mit rund 60 Millionen Euro. (ber)

Fortsetzung von Seite 3

## Überblick Energieforschung CUTEC Forschungszentrum

lischen und der Polymerelektrolyt(PEM)-Elektrolyse wird auch die so genannte Hochtemperaturelektrolyse zukünftig von großer Bedeutung sein. Bei dieser Technologie wird Wasserdampf bei Temperaturen von 700 – 900 °C mit sehr hohem Wirkungsgrad in die Produkte H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> gespalten, wofür neben regenerativer elektrischer Energie teilweise auch Hochtemperaturwärme verwendet werden kann. Eine Rückverstromung des Wasserstoffs ist in der gleichen Zelle möglich, in der auch die Elektrolyse durchgeführt wird. Derartige reversible Systeme sind mit den anderen Elektrolysetechnologien nicht realisierbar. Zudem erlaubt es die Hochtemperaturelektrolyse, zusammen mit Wasserdampf auch Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) umzusetzen. Bei dieser so genannten Co-Elektrolyse entsteht dann eine Mischung aus Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid (CO), die als „Synthesegas“ mit etablierten Verfahren der chemischen Industrie in zahlreiche Folgeprodukte wie Kraftstoffe oder Chemierohstoffe umgewandelt werden kann. Die Abteilung Chemische Energiesysteme des CUTEC widmet sich basierend auf ihren umfangreichen Erfahrungen mit Materialien und Systemen der Hochtemperaturbrennstoffzelle zukünftig auch verstärkt Fragen der Entwicklung der Hochtemperaturelektrolyse. Einen weiteren wichtigen Schritt in der Gestaltung des

zukünftigen Energiesystems stellen die sogenannten Power-to-X(P2X)-Prozesse dar. Hierbei wird über die Zwischenstufe Wasserstoff die Konversion elektrischer Energie in andere Energieformen erreicht, die im Zuge der Sektorenkopplung dann auch Energieträger und Rohstoffe für die Mobilität und die Industrie darstellen. Beispielsweise kann Wasserstoff mit Kohlenstoffdioxid aus geeigneten nachhaltigen Quellen prinzipiell in alle für die Mobilität und die Chemie- und Grundstoffindustrie erforderlichen Stoffe umgewandelt werden. Wichtige Forschungsfragen betreffen die Entwicklung neuer Materialien sowie verbesserter Modelle und Simulationswerkzeuge, um schließlich möglichst hohe Wirkungsgrade der einzelnen Konversionstechnologien zu erzielen. Diese auch im Rahmen des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen (EFZN) als zentrale Forschungslinie definierten P2X-Technologien werden auch durch das CUTEC unterstützt. Die Abteilung Chemische Energiesysteme verfügt über langjährige Erfahrung und eine hervorragende apparative Ausstattung zur Durchführung von Synthesegasreaktionen, mit denen unterschiedliche flüssige synthetische Kraftstoffe hergestellt werden können. Entsprechende Forschungsprojekte befinden sich gegenwärtig in der Beantragungsphase. (tu)



## Zum Tode von Werner Grübmeier



*Werner Grübmeier*

„Man sieht sich im Leben immer mehrmals“ sagt ein Sprichwort. Betrachtet man die „Lebensgeschichte“ des CUTEC, gibt es einen Menschen, der immer wieder in Erscheinung trat: Werner Grübmeier.

Gemeinsam mit Prof. Kurt Leschonski und weiteren Beteiligten war es vor allem seinem politischen Einfluss geschuldet, dass das CUTEC im Jahre 1989 aus der Taufe gehoben werden konnte. Bereits Anfang der 1980er Jahre entschied der damalige Landtagsabgeordnete Werner Grübmeier, dass der Harz und im speziellen die TU Clausthal eine ideale Keimzelle für die technische Lösung der zu diesem Zeitpunkt immer stärker ins Bewusstsein drängenden Umweltfragen sei.

Dabei ließ er sich nicht von politischem Gegenwind und verheißungsvollen Ablenkungen beirren, sondern setzte alle ihm möglichen Hebel in Bewegung, damit das CUTEC in Clausthal-Zellerfeld Realität würde. Aber nicht nur die Gründung 1990 ist zu großen Teilen sein Verdienst. Auch die Verwirklichung des Neubaus für die „CUTEC-Institut GmbH“ geht auf seinen unermüdlichen Einsatz zurück.

Bei der Verleihung des Bundesverdienstkreuzes an Werner Grübmeier sagte der jetzige Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier: „Mich hat bei den vielen Zusammenreffen, die wir hatten, immer wieder angerührt die Paarung von Hartnäckigkeit und Charme, mit der Sie ihre Ziele und Interessen verfolgen – eine Doppeleigenschaft, von der ich sicher bin, dass darin Ihr ganz persönliches Erfolgsgeheimnis liegt.“

Ich selbst durfte Werner Grübmeier nie persönlich kennenlernen, wusste aber um sein Engagement und seine Verbundenheit mit dem CUTEC vor allem durch die vielen Telefonate, die wir führten. Denn bis zum Schluss begleitete Herr Grübmeier die Geschicke des CUTEC noch und bei den Telefonaten war er nie um einen Ratschlag oder ein ermutigendes Wort verlegen.

Am 5. Oktober 2018 verstummten die Ratschläge jäh und mit dem Tod von Werner Grübmeier verlieren wir einen engagierten Initiator, Mentor und Motor zugleich. (du)

# Neujahrsgrüße



Dr.-Ing. Christian Duwe, Geschäftstellenleiter des CUTEC Forschungszentrums, Foto: Eugen Major, CUTEC

## IMPRESSUM

Herausgeber und Redaktion:  
CUTEC Forschungszentrum

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck (bk)  
Dipl.-Ing. A. Bertram (ber)  
Dr.-Ing. C. Duwe (du)  
Dipl.-Ing. D. Haupt (ha)  
A. Hashemifarzad, M. Sc. (hd)  
Dr.-Ing. A. Lindermeir (li)  
Dipl.-Umweltwiss. J. Schlecht (schl)  
Dr.-Ing. W. Siemers (sie)  
Prof. Dr.-Ing. M. Sievers (si)  
K. Tkalec, M. Sc (tk)  
Prof. Dr.-Ing. T. Turek (tu)  
Dr.-Ing. S. Vodegel (vo)

Herstellung und Bezug:  
CUTEC Forschungszentrum  
Leibnizstraße 23  
38678 Clausthal-Zellerfeld

Tel.: 05323 933-0 · Fax: 05323 933-100  
E-Mail: [cutec@cutec.de](mailto:cutec@cutec.de)  
Internet: [www.cutec.de](http://www.cutec.de)

Vorstandsvorsitzender: Prof. Dr.-Ing. D. Goldmann  
Geschäftstellenleiter: Dr.-Ing. C. Duwe

Layout und Satz: G. Wessels (wes)  
Schreiben Sie uns: [cutec@cutec.de](mailto:cutec@cutec.de)

Liebe Leserinnen und Leser,

mit dieser Ausgabe halten Sie die erste CUTEC News des Jahres 2019 in den Händen. Die erste Ausgabe in einem neuen Jahr lädt dabei zu einem Rückblick auf das vergangene Jahr und einen Blick auf das Kommende ein.

Das Jahr 2018 war ein Jahr, das man getrost als „Jahr des Übergangs“ bezeichnen konnte. Dabei standen die Entwicklungen im Zeichen der Profilbildung und Weiterentwicklung und führten unter anderem zu einer Governancestruktur, die in vielen Bereichen für die reibungslose Arbeit notwendig war. Das Aufrechterhalten zentraler Dienstleistungen soll zukünftig zeitliche Kapazitäten für die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter schaffen, um Projekte noch fokussierter einwerben und bearbeiten zu können.

Im Bereich der wissenschaftlichen Arbeiten haben die Abteilungen ihre Aktivitäten erfolgreich weiterentwickelt und die Projektakquise konnte wieder Fahrt aufnehmen. Viele Projekte im Bereich der Rohstoffrückgewinnung und der Energie konnten fortgeführt werden und es wurden neue Projekte akquiriert. Dabei zeigte sich, wie vielfältig die Fragestellungen sind, wenn man betrachtet, mit welchen weiteren Forschungsbereichen der Schulterschluss zum interdisziplinären Arbeiten erfolgte: Nimmt man das Thema Rohstoffe, sind hier sicherlich die Projekte RegioP2 (Phosphorrückgewinnung an Kläranlagen) oder die Demontagefabrik (automatisierte Zerlegung) zu nennen. Mit der Spieltheorie und Gamification wurde im Bereich der Akzeptanzforschung gearbeitet – das Projekt GAME. Darüber hinaus ergänzen zwei DFG-Projekte im letzten Jahr das Portfolio um Grundlagenforschung. Auch die internationale Vernetzung ist auf einem sehr guten Weg.

Für das nächste Jahr sind auch einige größeren Ziele geplant. Neben den wissenschaftlichen Arbeiten ist es aus der verwaltungstechnischen Perspektive die Erarbeitung eines Sicherheitskonzepts sowie die Modernisierung des Vorlesungssaals, der Seminar- und Besprechungsräume. Die Integration in die TU auf technischer und verwaltungstechnischer Ebene soll zum Abschluss gebracht werden.

Wie Sie feststellen, hat das neue Jahr im CUTEC schon volle Fahrt aufgenommen und ich freue mich auf die Ergebnisse, die hier in diesem Jahr erarbeitet werden können. (du)

## Wir gratulieren ...

... Herrn Niklas Schwenk, der seine dreieinhalbjährige Ausbildung zum Elektroniker der Betriebstechnik im Januar 2019 mit einer bestandenen Prüfung abgeschlossen hat. Wir danken ihm an dieser Stelle nochmals und wünschen ihm alles Gute für seine Zukunft. (wes)